

Кожекин А.Е., аспирант
Замятин В.М., проф., д-р техн. наук

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПЛОСКОГО СЛИТКА ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 1370 В ПРОЦЕССЕ ЗАТВЕРДЕВАНИЯ

Алюминиевый сплав марки 1370 (АД37) системы Al-Mg-Si-Mn-Cu-Zn с малыми добавками Sc и Zr представляет собой новый перспективный конструкционный материал для авиационной промышленности. Основная проблема литья плоских слитков из сплава 1370 заключается в его значительной горячеломкости. Известно, что склонность сплавов к образованию кристаллизационных трещин определяется как химическим составом сплава, так и условиями затвердевания слитков. В связи с этим были проведены исследования методом вмораживания термопар при режиме охлаждения плоского слитка сечением 300×1100 мм в процессе его литья с целью установления причин образования кристаллизационных трещин (рис.1).

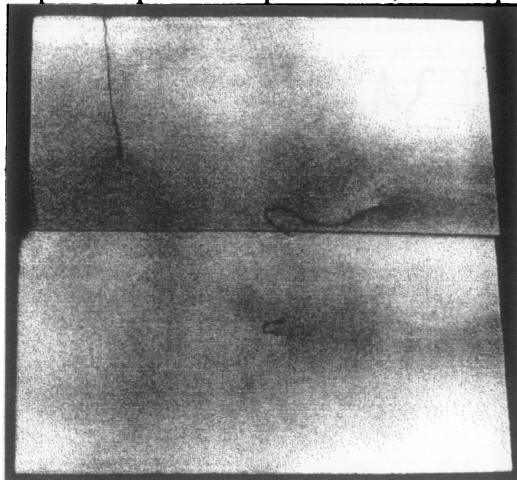


Рис.1. Макроструктура поперечного сечения плоского слитка сплава АД37

Два блока хромель-алюмелевых термопар, в момент установившегося литья слитка (300 мм от начала литья), вводились со стороны зеркала расплава в лунку слитка во взаимно-перпендикулярных направлениях. Скорость введения термопар, как и скорость литья слитка, составляла 55 мм/мин. Запись показаний термопар во времени осуществлялась непрерывно на диаграммную ленту прибора КСП-4, который был доработан с целью повышения точности и скорости измерений показаний термопар. Полученные кинетические зависимости в координатах «температура–время» позволили построить изотермы, характеризующие тепловое поле кристаллизующегося слитка (рис.2).

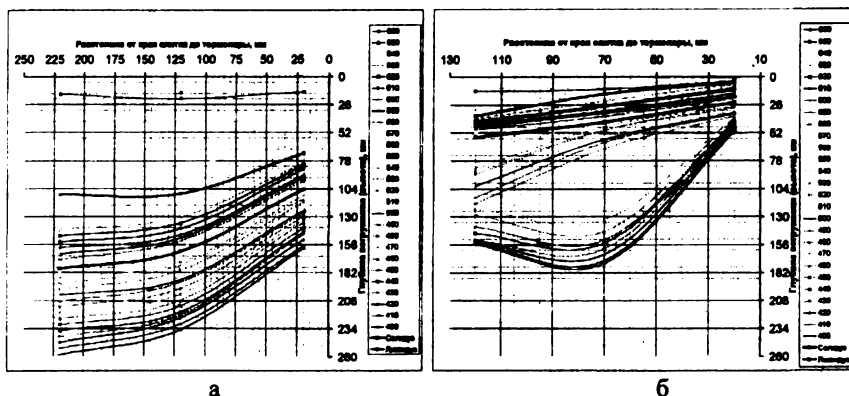


Рис.2. Тепловое поле кристаллизующегося плоского слитка сплава 1370 по направлению к: а - широкой грани; б - узкой грани

Анализ полученных изотерм показал, что со стороны узкой грани слитка в направлении к его центру изотермы располагаются на одинаковом расстоянии друг от друга и имеют плавный вид. Это свидетельствует о мягком охлаждении узких граней слитка и об отсутствии значительных градиентов температуры по ширине слитка. Иной характер имеют изотермы, построенные в направлении от широкой грани слитка к его центру. В этом случае имеет место достаточно резкое снижение изотерм в направлении от периферии к центру, свидетельствующее о существенных температурных градиентах в лунке слитка по его толщине. Кристаллизация заканчивается при отливке 50 мм, т.е. до выхода слитка из кристаллизатора. В то же время в точке, расположенной в районе широкой грани на расстоянии 100 мм от центральной линии, наблюдается повторный разогрев. Резкое снижение изотерм свидетельствует о наличии значительных температурных градиентов по толщине слитка, что вызывает появление существенных термических напряжений, вызывающих образование в этой области кристаллизационных трещин.

Проведённые нами исследования показали, что температура солидуса сплава 1370 составляет 558°C , а температура ликвидуса 642°C . С учётом этих значений температур на рис.2 построены изотермы ликвидуса и солидуса. Область, ограниченная линиями ликвидуса и солидуса, представляет собой переходную двухфазную зону. Из сравнения рис.2, а и рис.2, б видно, что переходная двухфазная зона слитка со стороны его узкой грани оказывается более широкой. Это объясняется меньшим градиентом температур от узкой грани слитка к его центру. Причём глубина переходной зоны в области широкой грани полностью находится в зоне первичного охлаждения слитка.

Таким образом, один из путей снижения трещинообразования в плоских слитках из сплава 1370 заключается в уменьшении перепада градиента температур при кристаллизации широкой грани слитка к его центру.

Макроструктура слитка в поперечном направлении (см. рис.1) однородная и мелкозернистая. Однако поверхностные слои слитка отличаются рыхлотой и отличной от центральных слоёв структурой. Причём толщина поверхностной зоны различна в различных зонах слитка: более толстая в области узких граней и более тонкая в области широких граней слитка. Хорошо видны поверхностные и центральные трещины слитка.

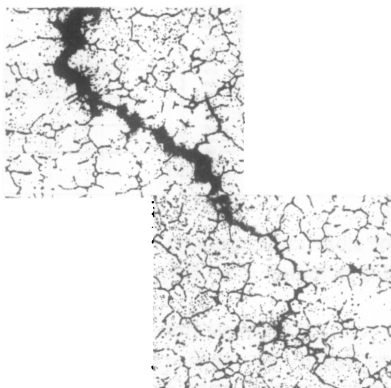


Рис.3. Микроструктура трещины в сплаве АД37, $\times 100$

Микроструктура сплава с наличием поверхностной трещины приведена на рис.3. Трещина представляет собой типичную кристаллизационную трещину, образующуюся между ветвями дендритов. Микроструктура центральных и поверхностных слоёв слитка приведена на рис.4. Обращает на себя внимание утолщённая граница между зёрнами, особенно в приповерхностных слоях. Отдельные участки похожи на залеченные кристаллизационные трещины. Данная микроструктура характерна для горячеломких сплавов. Классическими мерами борьбы с горячеломкостью в данном случае может быть снижение содержания легирующих компонентов, образующих легкоплавкие фазы и модифицирование расплава.

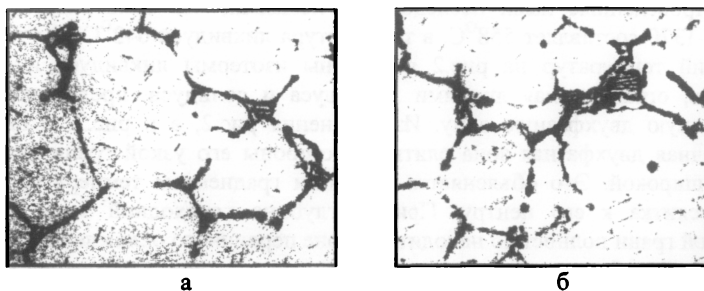


Рис.4. Микроструктура плоского слитка из сплава АД37, $\times 400$:
а - поверхностных слоёв, б - центральных слоёв

Механические свойства при повышенных температурах приведены на рис.5. Обращает на себя внимание низкое относительное удлинение во всём диапазоне температур (не выше 40%). В то же время удлинение вблизи солидуса равно 10%, что достаточно, чтобы противостоять «холодным» трещинам.

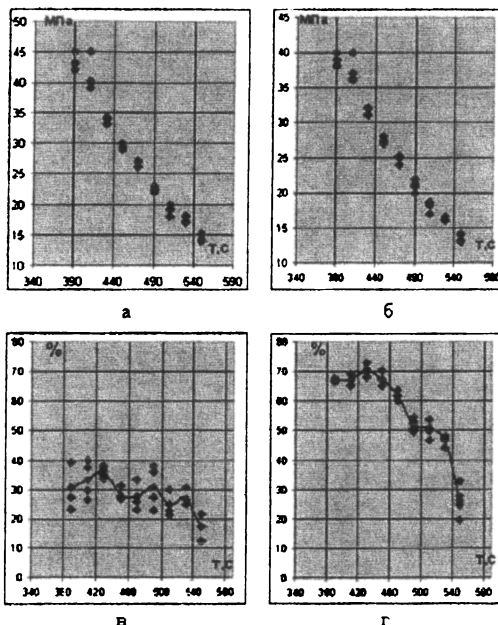


Рис.5. Механические свойства плоского слитка сечением 300x1100 мм из сплава АД37 при повышенных температурах:
а - предел прочности; б - предел текучести;
в - относительное удлинение; г - относительное сужение

На основании полученных данных выданы технологические рекомендации по корректировке скорости литья, уровня расплава в кристаллизаторе, характера распределения расплава в лунке слитка, конструкции кристаллизатора, модифицирования расплава в процессе литья лигатурным прутком Al-5%Ti-1%B, а также расхода охлаждающей воды, подаваемой на широкие грани слитка. Выполнение этих рекомендаций позволит предотвратить образование горячих трещин в плоских слитках из сплава 1370.